

Joni Viirret

## **TULOILMALAITTEEN VIRTAAUSTEKNISET MITTAUKSET**

# **TULOILMALAITTEEN VIRTASTEKNISET MITTAUKSET**

Joni Viirret  
Opinnäytetyö  
Kevät 2015  
Talotekniikan koulutusohjelma  
Oulun ammattikorkeakoulu

# TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu  
Talotekniikan koulutusohjelma

---

Tekijä(t): Joni Viirret

Opinnäytetyön nimi: Tuloilmalaitteen virtaustekniset mittaukset

Työn ohjaaja(t): Pirjo Kimari

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2015 Sivumäärä: 27 + 2 liitettä

---

Työn tarkoituksena oli mitata Oulapelti Oy:n valmistaman, teollisuushalleihin tarkoitetun tuloilmalaitteen virtausteknisiä ominaisuuksia. Mitattujen tulosten perusteella oli tarkoitus muodostaa laitteelle painehäviökäyrästä, määrittää heituskuvio sekä heittopituus. Työn tilaajana toimi Oulapelti Oy.

Mittaukset suoritettiin standardin SFS 5428 mukaisilla menetelmillä ja mittareilla pois lukien erillisen testaushuoneen käyttö ja ilmavirran mittaustarkkuus. Testaushuoneen sijasta mittaukset suoritettiin Oulapelti Oy:n tehdashallissa. Pääte-laitteelle muodostettiin painehäviökäyrästä mitattujen tulosten perusteella. Ennen heittopituuden ja heittokuvion määrittämistä laitteelle suoritettiin merkkiainekoe, josta huomattiin, ettei laite toiminut halutulla tavalla. Tämän vuoksi päätettiin mittaukset jättää suorittamatta, koska tulokset eivät olisi tarpeenmukaisia.

Laitteelle saatiin muodostettua painehäviökäyrästä. Heittopituus ja heittokuvio jäivät määrittämättä laitteen toimimattomuuden vuoksi. Niiden sijasta annettiin laitteen rakennetta koskevia parannusehdotuksia. Parannusehdotuksista keskeisimmät olivat laitteen ulkomuodon muuttaminen kiilamaisesta suorakaiteenmuotoiseksi, ilmavirran pienentäminen ja säleikköjen vaihtaminen erilaisiksi.

---

Asiasanat: Ilmanvaihto, ilmanvaihtolaitteet, ilmanjakotavat

# SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
SISÄLLYS	4
1 JOHDANTO	5
2 ILMANJAKOJÄRJESTELMÄT	6
2.1 Ilmanjakotavat	6
2.1.1 Syrjäyttävä	6
2.1.2 Laminaarinen	7
2.1.3 Sekoittava	8
2.2 Sekoittavan ilmanjakolaitteen valintakriteerit	8
2.2.1 Ilmavirta	9
2.2.2 Paine-ero	9
2.2.3 Äänitaso	9
2.2.4 Veto	10
2.3 Ominaisuuksien standardin mukainen mittaaminen	10
2.3.1 Mittauslaitteet ja niiltä vaadittavat tarkkuudet	10
2.3.2 Tuloilmalaitteen asennus	11
2.3.3 Paineen mitta	13
2.3.4 Heittopituuden määrittäminen	14
2.3.5 Hajotuskuvion määrittäminen	16
3 PÄÄTELAITTEEN MITTAUKSET	18
3.1 Päätelaitteet	19
3.2 Käytetyt mittarit	21
3.3 Mittauslaitteisto	22
3.4 Paineen mitta	23
3.5 Heittopituus	25
3.6 Hajotuskuvio	25
4 YHTEENVETO	26
LÄHTEET	27
LIITTEET	
Liite 1. Ilmavirtojen vertailu	
Liite 2. Painehäviön laskentataulukko	

# 1 JOHDANTO

Opinnäytetyön tilaajana oli Oulapelti Oy, jonka pääasiallinen toimiala on julkisten rakennusten ilmanvaihtourakointi. Toimialueena on koko Suomi. Yritys on perustettu vuonna 1981 Oulaisiin, ja se työllistää noin kymmenen työntekijää.

Työn tarkoituksena oli tehdä Oulapellin kehittämälle tuloilmalaitteelle paine-ilmavirtakäyrästä sekä määrittää heittopituus ja heittokuvio standardin SFS 5428 mukaisia menetelmiä soveltaen. Lisäksi mittausten tuloksia hyödyntäen määritetään päätelaitteelle optimaalinen sijoituspaikka tilassa niin, ettei vetokriteeri ylity oleskeluvyöhykkeellä.

Tuloilmalaite on suunniteltu sekoittavaksi ilmanjakolaitteeksi teollisuustiloihin ja sitä on valmistettu vain yhtä nimelliskokoa. Suunniteltu maksimi-ilmavirta kyseiselle koolle on noin 400 l/s. Laite ei sisällä ilmavirran säätölaitetta, vaan se tarvitsee erillisen ilmavirran säätölaitteen.

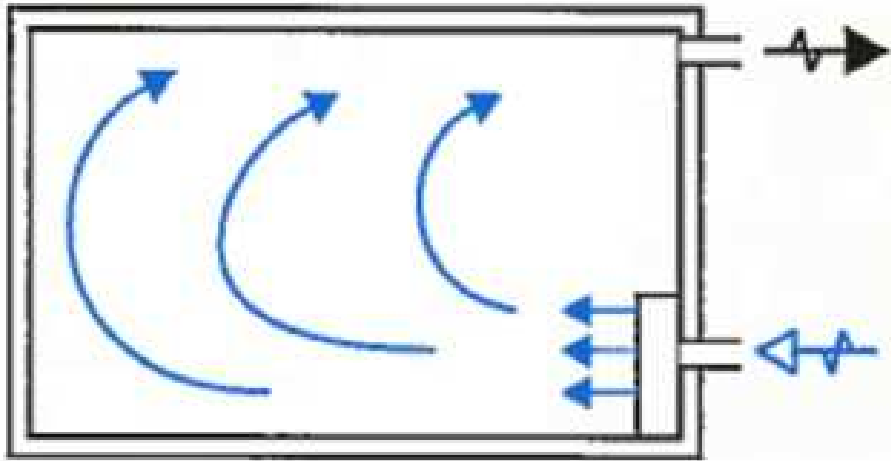
## **2 ILMANJAKOJÄRJESTELMÄT**

Ilmanjakoon kuuluvat tulo- ja poistoilmalaitteet ja niiden aiheuttamat ilmavirtaukset huoneessa. Ilmanjakotavat voidaan jakaa kolmeen eri tapaukseen, jotka ovat syrjäyttävä, laminaarinen ja sekoittava ilmanjako. Tässä työssä käsitellään lähemmin sekoittavaa ilmanjakotapaa. Ilmanjaolla pyritään riittävän hyvään ilman vaihtuvuuteen ja epäpuhtauksien hallintaan. Epäpuhtauksien leviämistä pyritään rajoittamaan ja niiden liikettä ohjaamaan poistoilmalaitteita kohti. (1, s.193.)

### **2.1 Ilmanjakotavat**

#### **2.1.1 Syrjäyttävä**

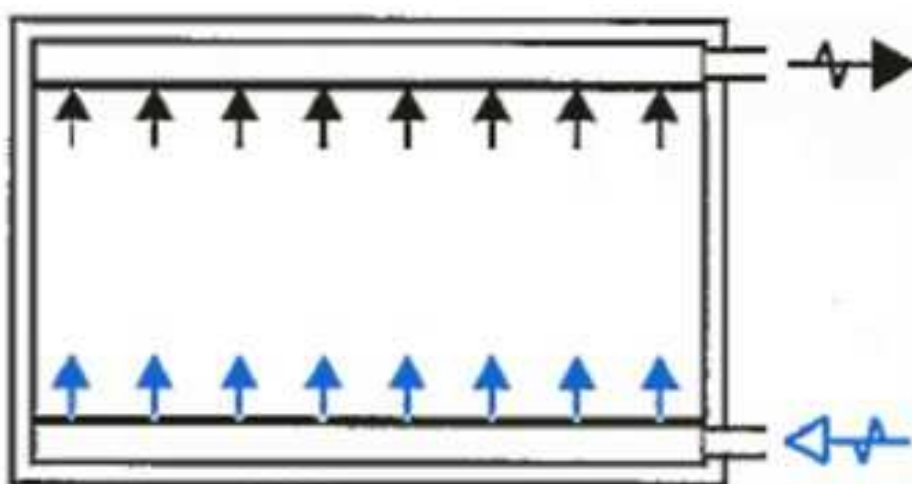
Syrjäyttävässä ilmanjaossa ilma tuodaan pienellä nopeudella huonetilan oleskeluvyöhykkeelle kuvan 1 mukaan. Näin tuloilma ei sekoitu huoneilmaan vaan syrjäyttää sen. Poistoilmalaitteet sijoitetaan ylös kattoon. Syrjäyttävästä ilmanjaosta käytetään myös nimitystä piennopeusilmanjako. (1, s. 198–199.) Tämän ilmanjaon tehokkuus perustuu hieman alilämpöiseen tuloilmaan huoneilmaan nähden, jolloin alas muodostuu puhtaasta ilmasta oleskeluvyöhyke ja epäpuhtaudet keräytyvät ylös. Huonetilassa täytyy myös olla ihmisten ja koneiden aiheuttamia lämpökuormia, jotta syntyisi konvektiovirtauksia ja ilma nousisi ylös kohti poistoilmalaitteita. (2, s.159.) Syrjäyttävä ilmanjako soveltuu erityisesti korkeisiin tiloihin, joissa on epäpuhtauksia ja lämpökuormia, kuten avokonttorit ja tehdashallit.



KUVA 1 Syrjäyttävä ilmanjakotapa (1, s. 193)

### 2.1.2 Laminaarinen

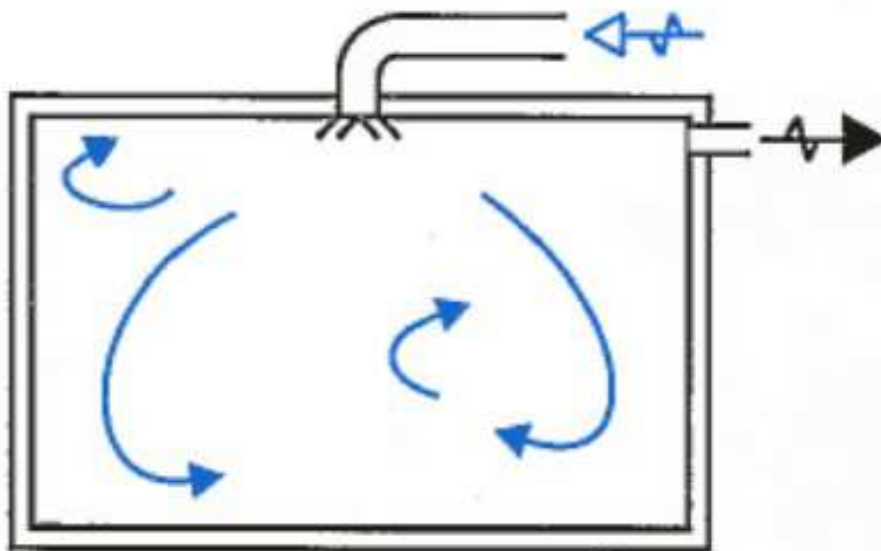
Laminaarisessa ilmanjaossa ilma pyritään tuomaan mahdollisimman tasaisella ja pyörteettömällä ilmavirtauksella huoneeseen tai huomattavaan osaan huonetta. Ilma jaetaan huoneeseen suurista pinnoista, kuten katosta tai seinästä kuvan 2 mukaan. Laminaarisella ilmanjaolla saadaan aikaan lämpöolojen hyvä hallinta ja erityisen puhdastila. Se on myös hyvä tapa tuoda huoneeseen suuria ilmavirtoja vedottomasti (3, s. 154). Tämän vuoksi ilmanjakotapaa käytetään paljon esimerkiksi leikkaussaleissa, joissa vaaditaan suuria ilmavirtoja ja ilman puhtautta.



KUVA 2 Laminaarinen ilmanjakotapa (1, s.193)

### 2.1.3 Sekoittava

Sekoittavassa ilmanjaossa ilma tuodaan päätelaitteesta suurella nopeudella, jolloin tuloilma tunkeutuu syvälle huoneilmaan. Samalla huoneilmaa imeytyy tuloilmasuihkuun sekoittuen siihen kuvan 3 mukaan. Näin saavutetaan tasaiset olosuhteet koko huonetilassa. Tuloilmalaitteella on suuri vaikutus huoneen virtauskenttään, sillä tuloilmasuihkun nopeus laskee yhteen kymmenesosaan vasta 30–60 päätelaitteen liityntäkokoa vastaavalla matkalla. Poistoilmalaitteessa ilmannoisuus on pienentynyt samaan jo yhden halkaisijan matkalla. (1, s.194.) Tämän vuoksi poistoilmalaitteiden sijoituksella ei ole yleensä merkittävää vaikutusta ilmanvaihdon tehokkuuteen, kunhan oikosulkuvirtaus estetään. Tiloissa, joissa on merkittäviä epäpuhtauksia, poistoilmalaitteen sijoituksella on suurempi merkitys. (2, s.139). Sekoittava on yleisin ilmanjakotapa, ja se soveltuu hyvin esimerkiksi omakotitaloihin ja luokkahuoneisiin.



KUVA 3 Sekoittava ilmanjakotapa (1, s.193)

### 2.2 Sekoittavan ilmanjakolaitteen valintakriteerit

Päätelaite valitaan pääasiassa halutun ilmavirran mukaan, niin ettei vetokriteeri ylitä huoneessa. Lisäksi tarkistetaan, ettei päätelaite aiheuta huonetilaan liian suurta ääntä. Myös laitteen ulkonäkö ja asennustapa vaikuttavat päätelaitteen valintaan.



### 2.2.1 Ilmavirta

Huonetilan tarvittavasta ilmavirrasta on Suomen rakentamismääräyskokoelman (RakMK) osassa D2 ohjearvoja eri rakennuksille ja huonetiloille, joissa ei ole epäpuhtaus- ja lämpökuormia. Jos huonetilassa on epäpuhtaus- ja/tai lämpökuormia, tulisi näitä käyttää ilmavirran mitoituksen perusteena. Ilmavirran mitoituksen perusteena voidaan käyttää myös Sisäilmastoluokituksen S1- ja S2-laatuoluokituksen mukaisia tavoitearvoja, jotka tähtäävät parempaan sisäilma-tilaan kuin RakMK:n osa D2. Keskiraskas tehdastyölle siinä määritellään ulkoilmavirraksi henkilömäärän perusteella  $10 \text{ (dm}^3\text{/s)/hlö}$  tai pinta-alan perusteella  $1,5 \text{ (dm}^3\text{/s)/m}^2$ .

### 2.2.2 Paine-ero

Päätelaitetta valittaessa paine-ero päätelaitteen yli huonetilaan tulisi huomioida halutulla ilmavirralla niin, että sitä olisi mahdollista pienentää ja kasvattaa ilman, että päätelaitteen aiheuttama ääni nousee liian suureksi. Tällä varmistetaan, että päätelaitteiden ilmavirrat saadaan säädettyä suunnitelmien mukaisiksi.

### 2.2.3 Äänitaso

Päätelaitteen aiheuttamaan äänitasoon vaikuttavat ilmavirta, paine-ero ja laitteen muotoilu. RakMK D2:ssa on asetettu rajat ilmanvaihdon äänitasolle, joka ei saa ylittyä huonetilassa. Esimerkiksi asuinrakennuksen asuinhuoneelle on annettu rajat  $L_{A,eq,T} = 28\text{dB}$  tai  $L_{A,max} = 33\text{dB}$ . Näistä lukemista ensimmäistä käytetään suunnittelussa. (4, s. 25.)

Päätelaitteen valinnassa tulee tietää kyseisen laitteen ilmavirta ja paine-ero, jolloin voidaan valmistajan esitteestä lukea näitä arvoja vastaava äänenpainetaso. Jos laitteita on useampia samassa huoneessa, tulee näiden äänenpainetasot laskea logaritmisesti yhteen, jotta saadaan kaikkien päätelaitteiden aiheuttama äänitaso huonetilassa. Huonetilaan tulee myös puhaltimien ja säätölaitteiden aiheuttamaa ääntä kanavistosta, joten päätelaitteiden aiheuttama äänitaso tulee olla huomattavasti pienempi kuin suurin sallittu äänitaso (5, s.205). Ilmanvaihdon aiheuttama äänitason selvittäminen huoneessa edellyttää poisto- ja tuloilmakanavien äänilaskentaa puhaltimelta asti.

## 2.2.4 Veto

Ihminen aistii ilman liian suuren nopeuden ja sen aiheuttaman lämmönsiirron iholla vetona. Vetoon vaikuttavia tekijöitä ovat ilmannopeus, lämpötila ja säteilemällä tapahtuva lämmönsiirto. (3, s. 25.) Suomen rakentamismääräyskokoelman osa D2 antaa ilmannopeuksille raja-arvot kesä- ja talvitilanteille. Raja-arvot vaihtelevat myös kyseessä olevan rakennuksen ja huonetilan mukaan. Tehdas-tilalle, jossa tehdään keskiraskasta työtä, RakMK D2 antaa raja-arvoksi talvitilanteessa 0,25 m/s ja kesätilanteessa 0,5 m/s. Ilmannopeus ei siis saa ylittää oleskeluvyöhykkeellä näitä arvoja. (4, s. 30.)

Valittaessa päätelaitetta tulisi ottaa huomioon laitteen heittopituus kyseisellä ilmavirralla ja myös mahdollinen suihkun taipuma. Taipumaa syntyy, kun laitteesta johdettu ilma on yli- tai alilämpöistä huoneilmaan nähden. Myös huonetilan koko, huoneen kalustus, tuloilmalaitteen sijoitus ja muiden tuloilmalaitteiden vaikutus tulee ottaa huomioon määriteltäessä ilmannopeuksia oleskeluvyöhykkeellä. (2, s. 139–140, 145.)

## 2.3 Ominaisuuksien standardin mukainen mittaaminen

Päätelaitteiden virtausteknisten testien suorittamistapa ja niissä sallitut mittalaitteet on määrätty standardissa 5428. Seuraavaksi käsitellään kyseisen standardin tuloilmalaitteita koskevia testejä ja mittauslaitteita.

### 2.3.1 Mittauslaitteet ja niiltä vaadittavat tarkkuudet

Ilman tilavuusvirta voidaan mitata standardin ISO 5221 mukaisia menetelmiä tai kalibroituja tilavuusvirtamittareita käyttäen. Mittauslaitteet tulee tarkistaa vähintään kerran kahdessa vuodessa ja niiden sallitut epätarkkuudet eivät saa ylittää taulukossa 1 esitettyjä arvoja. (6, s. 3.)

TAULUKKO 1 Tilavuusvirtamittarin sallitut epätarkkuudet (6, s.3)

Mittausalue m <sup>3</sup> /s	Mittarin epätarkkuus %
0,07 ... 7	±2,5
0,007 ... 0,07	±5

Kanavapaine mitataan kalibroidulla nestetäytteisellä manometrillä tai muulla kalibroidulla painemittarilla, jonka tarkkuus on riittävän usein todettu. Mittauslaitteen asteikkovälin ja kalibrointitarkkuuksien tulee olla taulukon 2 mukaisia. (6, s. 4.)

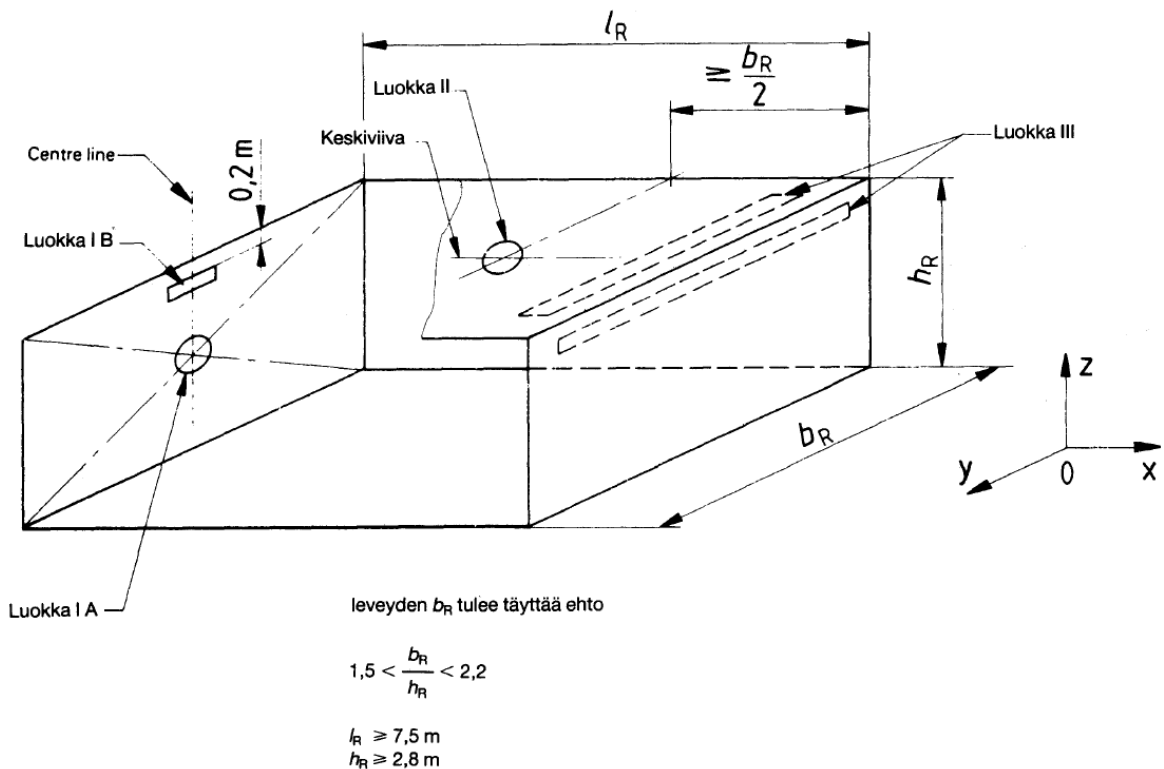
*TAULUKKO 2 Painemittarin sallitut epätarkkuudet ja asteikkovälit*

Mittausalue Pa	Kalibrointitarkkuus Pa	Suurin sallittu asteikkoväli Pa
1,25 ... 25	$\pm 0,25$	1,25
25 ... 250	$\pm 2,5$	2,5
250 ... 500	$\pm 2,5$	5
> 500	$\pm 25$	25

Ilman nopeuden mittaamiseen käytetään mittalaitetta, jolla voidaan mitata nopeuksia välillä 0,2 ... 3 m/s ja sen epätarkkuus saa olla enintään  $\pm 10$  %. Mittari pitää kalibroida säännöllisesti ja virtausolosuhteiden pysyessä vakiona sen lukema tulee pysyä vakiona. Mittarin näyttämien perättäisten lukemien ero ei saa olla suurempi kuin 5 % ja sen tulee antaa nopeuden ajallinen keskiarvo. Anturin koko ei saa ylittää 15 mm:ä virtauksen suunnassa ja ilman lämpötilan vaikutus mittaukseen tulee olla tiedossa. (6, s. 4.)

### **2.3.2 Tuloilmalaitteen asennus**

Tuloilmalaite asennetaan erilliseen testaushuoneeseen, joka on suorakulmainen. Seinät, joita pitkin ilmasuihku virtaa, tulee olla sileitä ja tasaisia. Valaisimet ja ikkunat tulee olla seinän kanssa samassa tasossa. Ilma poistetaan huoneesta mahdollisimman kaukaa tuloilmasuihkusta ja mittauspisteistä. Huoneen koko on määritetty kuvassa 4. (6, s. 7.)



KUVA 4 Mittaushuone (6, s.12)

Tuloilmalaitteet sijoitetaan huonetilaan tuloilmalaitteen puhalluskuvion mukaan. Tuloilmalaitteet jaetaan puhalluskuvion mukaan kolmeen eri luokkaan, joita ovat kolmiulotteisesti ja kaksiulotteisesti puhaltavat sekä päätelaitteet, joiden puhallus on säteittäistä. Lisäksi kolmiulotteisesti puhaltavat jaetaan vielä kahteen eri alaryhmään, joita ovat suuttimet ja säleiköt. (6, s. 7)

Kolmiulotteisesti puhaltavat säleiköt sijoitetaan huoneen seinän pystykeskiviivalle siten, että virtausaukon yläreuna on katosta 0,2 m ja maksimi heittopituus on mahdollinen. Kolmiulotteisesti puhaltavat suuttimet sijoitetaan taas siten, että ympäröivien pintojen vaikutus jää pieneksi ja maksimi heittopituus on mahdollinen. Kaksiulotteisesti puhaltavat eli rakohajottimet sijoitetaan käyttötarkoituksensa mukaan. Tuloilmalaitteista, joiden puhallus on säteittäistä, käytetään nimitystä kattohajottimet, ja ne sijoitetaan testaushuoneeseen katon tasoon keskelle huonetta. Jos kattohajottimessa on säädettävä puhalluskuvio, sijoitetaan laite niin kuin sitä tavallisesti käytetään. (6, s. 7.)

### 2.3.3 Paineen mittaus

Paine kuvastaa voimaa, joka kohdistuu pinta-alayksikköä kohden. Voimalle on annettu SI-mittayksikköjärjestelmässä erityisnimi pascal. Yksi pascal muodostuu, kun yhden newtonin voima kohdistuu neliömetriä kohden. Kun väliaine virtaa putkessa tai kanavassa, paine jakautuu kahteen komponenttiin, dynaamiseen ja staattiseen paineeseen, joiden summa on kokonaispaine (7, s. 149).

Staattinen paine kuvastaa painetta, jolla virtaava aine painaa virtaussuuntaan nähden kohtisuoraan kanavan seinään. Kanavassa se voidaan mitata putken seinämässä olevasta pienestä reiästä (8, s. 26). Dynaaminen paine on virtauksen aiheuttama ja verrannollinen tiheyden ja virtausnopeuden tuloon kaavan 1 mukaan. (7, s. 149.)

$$p_d = \frac{1}{2} \rho v^2$$

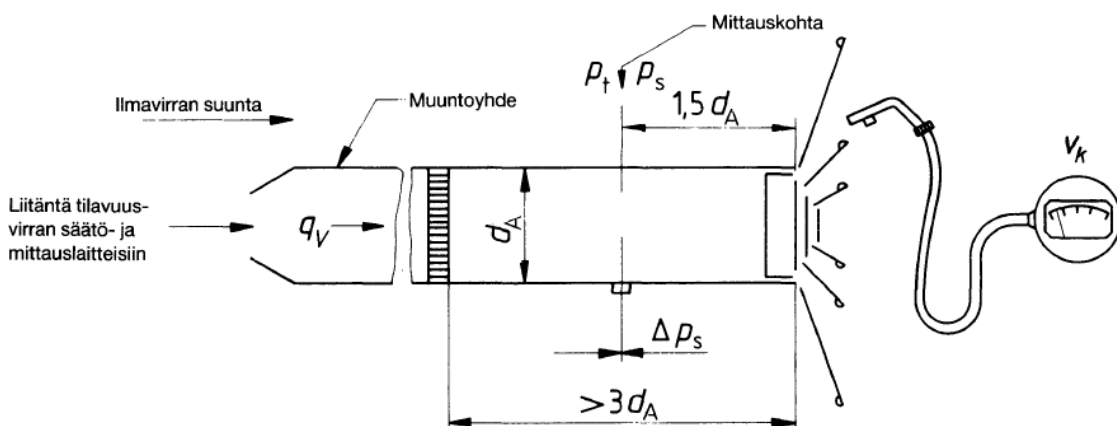
KAAVA 1

$\rho$  = tiheys (kg/m<sup>3</sup>)

$p_d$  = dynaaminen paine (Pa)

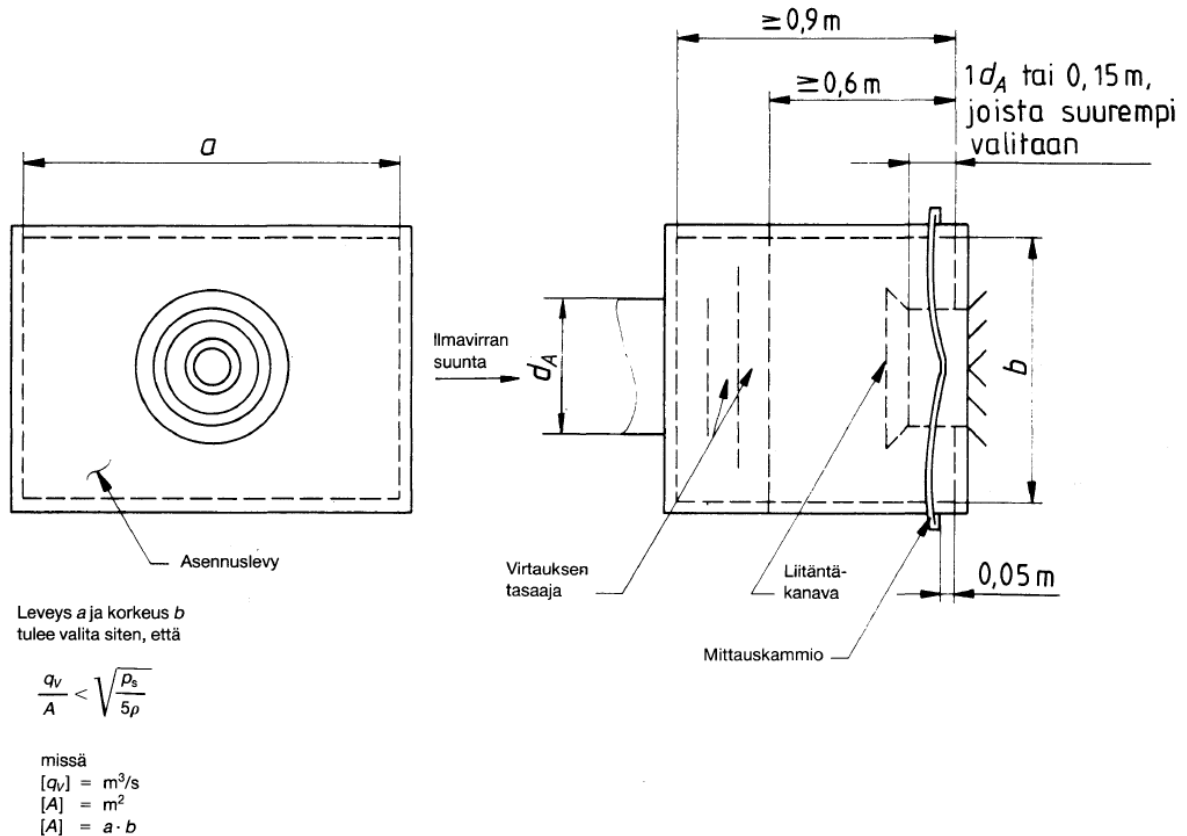
$v$  = virtauksen nopeus (m/s)

Tuloilmalaitteen paine voidaan mitata kahdella tavalla: kanava- tai kammiomenetelmällä. Kanavamenetelmässä tuloilmalaite asennetaan kuvan 5 mukaiseen kanavaosaan. Staattinen paine mitataan neljästä pisteestä käyttämällä rengasputkea tai asentamalla letkut symmetrisesti. Dynaaminen paine lasketaan ilman virtausnopeudesta kaavalla 1. (6, s. 5.)



KUVA 5 Kanavamenetelmä (6, s. 9)

Kammiomenetelmässä laite asennetaan kuvan 6 mukaiseen kammioon, jossa on tasausosa pyörteettömän virtauksen aikaan saamiseksi kun tuloilmaelin on irrotettuna. Staattinen paine mitataan kammiosta ja sitä voidaan riittävällä tarkkuudella pitää kokonaispaineena. (6, s. 5.)



KUVA 6 Kammiomenetelmä (6, s. 10)

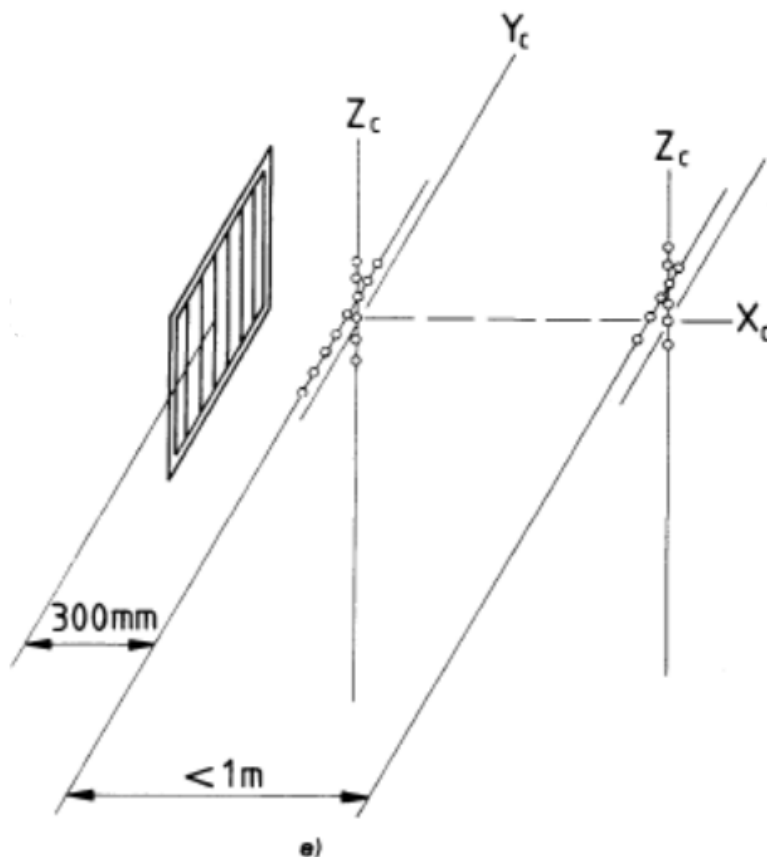
Molemmissa, kanava- ja kammiomenetelmässä, paineet voidaan myös mitata Pitot-putkella standardissa 5428 määrätyistä paikoista. Mittaustulokset esitetään diagrammissa, jossa on kokonaispaine tai staattinen paine tilavuusvirran funktiona. Mitatut paineet korjataan vastamaan ilman tiheyttä  $1,2 \text{ kg/m}^3$ . Diagrammi voidaan myös korvata käyttämällä kertavastuskertoimia. (6, s. 5.)

#### 2.3.4 Heittopituuden määrittäminen

Tuloilmapäätelaitteen heittopituuden ja hajotuskuvion mittaus voidaan suorittaa standardin SFS 5428 mukaan kahdella tavalla, joista toinen soveltuu vain isotermissiin olosuhteisiin ja toinen myös muissa kuin isotermissä olosuhteissa

tehtäviin mittauksiin. Seuraavaksi käsitellään vain jälkimmäistä mittaustapaa, joka soveltuu myös muihinkin kuin isothermisiin olosuhteisiin. (6, s. 7–9.)

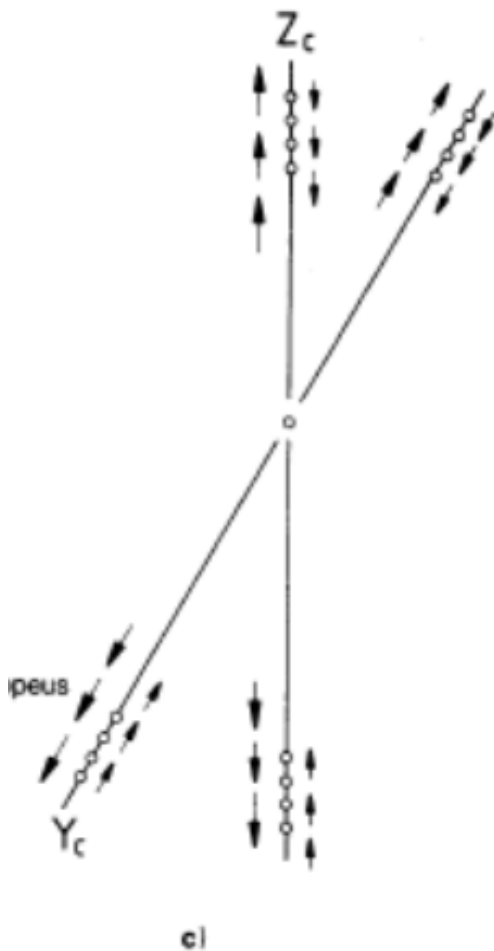
Mittaaminen aloitetaan sijoittamalla nopeusanturi 300 mm:n etäisyydelle päätelaitteesta sen keskilinjalle, minkä jälkeen aloitetaan maksiminopeuden etsintä päätelaitteen otsapinnan suunnassa enintään 50 mm:n välein. Pisteessä, jossa nopeus on suurin, kautta kulkeva pystysuora akseli on  $Z_c$ . Tätä akselia pitkin etsitään myös maksiminopeuspiste, jonka lävitse kulkeva vaaka-akseli on  $Y_c$ . Tämän jälkeen anturi sijoitetaan akselien  $Y_c$  ja  $Z_c$  leikkauspisteeseen ja sitä liikutetaan ilmapirran suuntaan akselia  $X_c$  pitkin enintään 1 metrin välein. Mittauksen kulku on esitetty kuvassa 7. Tässä pisteessä edellä mainittu menettely toistetaan, kunnes loppunopeus on pienempi kuin 0,2 m/s. Näin saadut maksiminopeudet piirretään logaritimpaperille etäisyyden funktiona. Näin saadusta piirroksesta voidaan lukea heittopituus. (6, s. 8.)



KUVA 7 Heittopituuden määrittäminen (6, s. 17)

### 2.3.5 Hajotuskuvion määrittäminen

Hajotuskuvion määrittämisessä mitataan jokaisella heittopituuden määrittäksessä saadulla  $Y_c$ - ja  $X_c$ -akselilla loppunopeutta vastaava piste. Ensiksi nopeusanturia liikutetaan akselia  $Z_c$  pitkin alaspäin, kunnes loppunopeus on pienempi kuin 0,2 m/s, ja tämä sijainti kirjataan ylös. Tämän jälkeen anturia liikutetaan ylöspäin enintään 100 mm välein ja kirjataan nopeus ylös jokaisessa pisteessä. Tähän tapaan mittausta jatketaan kunnes on kirjattu vähintään neljä lukemaa ja nopeus on suurempi kuin loppunopeus eli 0,2 m/s. Mittaus suoritetaan myös ylöspäin samalla  $Z_c$ -akselilla ja sitten kumpaankin suuntaan  $Y_c$ -akselilla. Koko edellä mainittu mittaus toistetaan jokaisella  $Y_c$ - ja  $Z_c$ -akselilla. Mittauksen periaate on esitetty kuvassa 8. Jokaisesta mittauksesta piirretään kaavio nopeudesta etäisyyden akseleista  $Y_c$  tai  $Z_c$  funktiona. (6, s. 8–9.)



KUVA 8 Puhalluskuvion määrittäminen (6, s. 17)



$Y_c$ -akselien tasossa mitattujen loppunopeuspisteiden ja heittopituuspisteen kautta piirretään käyrä. Syntynyt piirros kuvastaa tuloilmalaitteen hajotuskuviota katsottuna ylhäältä päin. Tämän käyrän rajoittaman pinnan suurin leveys määritellään suihkun leveydeksi. Vastaava piirros tehdään myös  $Z_c$ -akselien tasossa mitatuista loppunopeuspisteistä ja heittopituuspisteestä. Tämä piirros kuvastaa hajotuskuviota sivulta päin katsottuna. Käyrän suurin pystysuora etäisyys tuloilmalaitteen keskilinjaan nähden määritellään suihkun leviämiseksi ylöspäin. Vastaavasti käyrän suurin pystysuora etäisyys alaspäin keskilinjaan nähden määritellään suihkun leviämiseksi alaspäin. (6, s. 9.)

### 3 PÄÄTELAITTEEN MITTAUKSET

Mittaukset suoritettiin Oulapelti Oy:n tehdashallissa. Hallin ilmanvaihto sammutettiin mittausten ajaksi ja ulko-ovien avaaminen estettiin mahdollisimman häiriöttömän mittaolosuhteen saavuttamiseksi. Mittauksissa noudatettiin standardin 5428 mukaisia menetelmiä ja mittareita mittaushuoneen käyttöä sekä ilmapvirran mittaustarkkuutta lukuun ottamatta.

Ilman tiheys määritettiin laskemalla kaavalla 2. Ilman kosteuden vaikutus tiheyteen todettiin pieneksi, joten sitä ei otettu huomioon laskemisessa. Vallitseva ilmapaine ja lämpötila mitattiin TSI TC9565-monitoimimittarilla.

$$\rho = \frac{pM}{R_u T}$$

KAAVA 2

$\rho$  = Ilman tiheys, kg/m<sup>3</sup>

$p$  = Ilman paine, (Pa)

$M$  = Kuivan ilman moolimassa, (28,97 kg/kmol)

$R_u$  = Yleinen kaasuvakio, (8314,7 J/kmolK)

$T$  = Absoluuttinen lämpötila, (K)

Ilmavirta saatiin mittaamalla Fläkt Woodsin IRIS-säätöpellin mittausrinnoista paine-ero ja laskemalla siitä säätöasentoa vastaava ilmavirta. Paine-ero mitattiin 10 sekunnin pituisen jakson keskiarvona mittausvirheen pienentämiseksi. Säätöpellin k-arvo on määritetty ilman tiheydelle 1,2 kg/m<sup>3</sup>, joten ilmavirta muutettiin vastaamaan tätä kaavalla 3 (9, s. 8).

$$q_{v1,2} = \sqrt{\frac{\rho_{1,2}}{\rho_{mit}}} * q_{vmit}$$

KAAVA 3

$q_{v1,2}$  = Korjattu ilmavirta, (l/s)

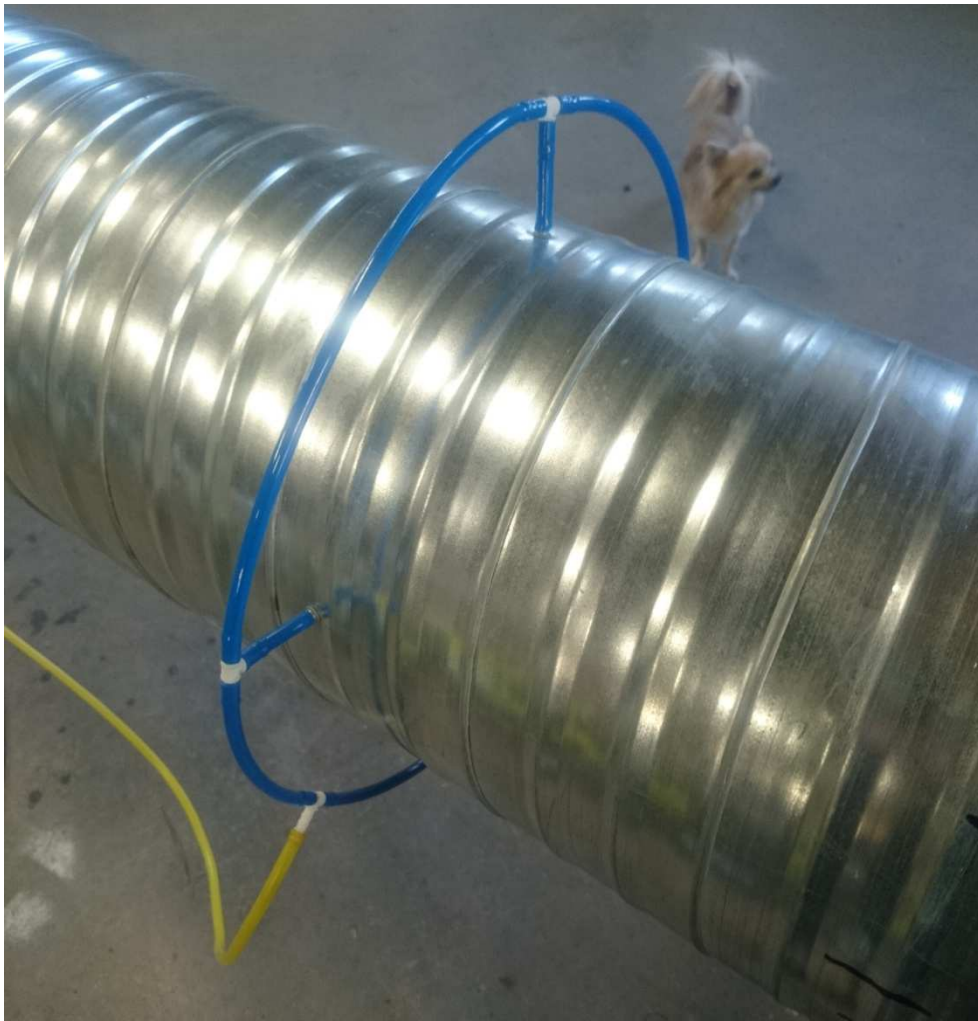
$\rho_{1,2}$  = Ilman tiheys, (1,2 kg/m<sup>3</sup>)

$\rho_{mit}$  = Mittaustilanteen ilman tiheys, (kg/m<sup>3</sup>)

$q_{vmit}$  = Mitattu ilmavirta, (l/s)

Lisäksi mitattiin pitot-putkella dynaaminen paine kanavassa käyttäen 12 pisteen Log-linear-menetelmää ja laskemalla tästä ilmavirta. Säätopellillä mitattua ilmavirtaa verrattiin pitot-putkella mitattuun ilmavirtaan ja voitiin todeta tulosten olevan yhtenevät. Liitteessä 1 on esitetty Excel-laskentataulukko vertailusta.

Staattinen paine mitattiin standardin 5428 mukaisella rengasputkella. Rengasputki koostui kanavan kehällä olevista neljästä mittauspisteestä, jotka yhdistettiin pneumatiikkaputkea käyttämällä yhdeksi mittauspisteeksi. Kuvassa 9 on esitetty kyseinen rengasputki.



*KUVA 9 Staattisen paineen mittausjärjestely*

### **3.1 Päätelaitte**

Päätelaitte on suunniteltu tehdashalleihin, joissa vaaditaan suurta heittopituutta, jotta tuloilma saadaan tuotua lähelle hallin keskiosaa oleskeluvyöhykkeelle. Hal-

lin seinustoilla on yleensä laitteita ja hyllyköitä, joten laite sijoitetaan noin kahden metrin korkeuteen seinälle.

Laitetta on valmistettu yhtä nimelliskokoa, jonka maksimi ilmavirta on noin 400 l/s. Se koostuu kahdesta Fläkt Woodsin SV-2-säleiköstä sekä niitä ympäröivästä paineentasauskammioista ja säleikköjen alapuolella olevasta reikälevystä tehdystä piennopeuslaitteesta. (Kuva 10.)



*KUVA 10 Päätelaitte*

Laitteen toimintaperiaate on, että säleiköistä tuleva suurempinopeuksinen viuhkamainen ilmasuihku ohjaa säleikköjen alapuolelta pienemmällä nopeudella tulevan ilman oleskeluvyöhykkeelle. Toimintaperiaate on esitetty kuvassa 11.



*KUVA 11 Päätelaitteen toimintaperiaate*

### **3.2 Käytetyt mittarit**

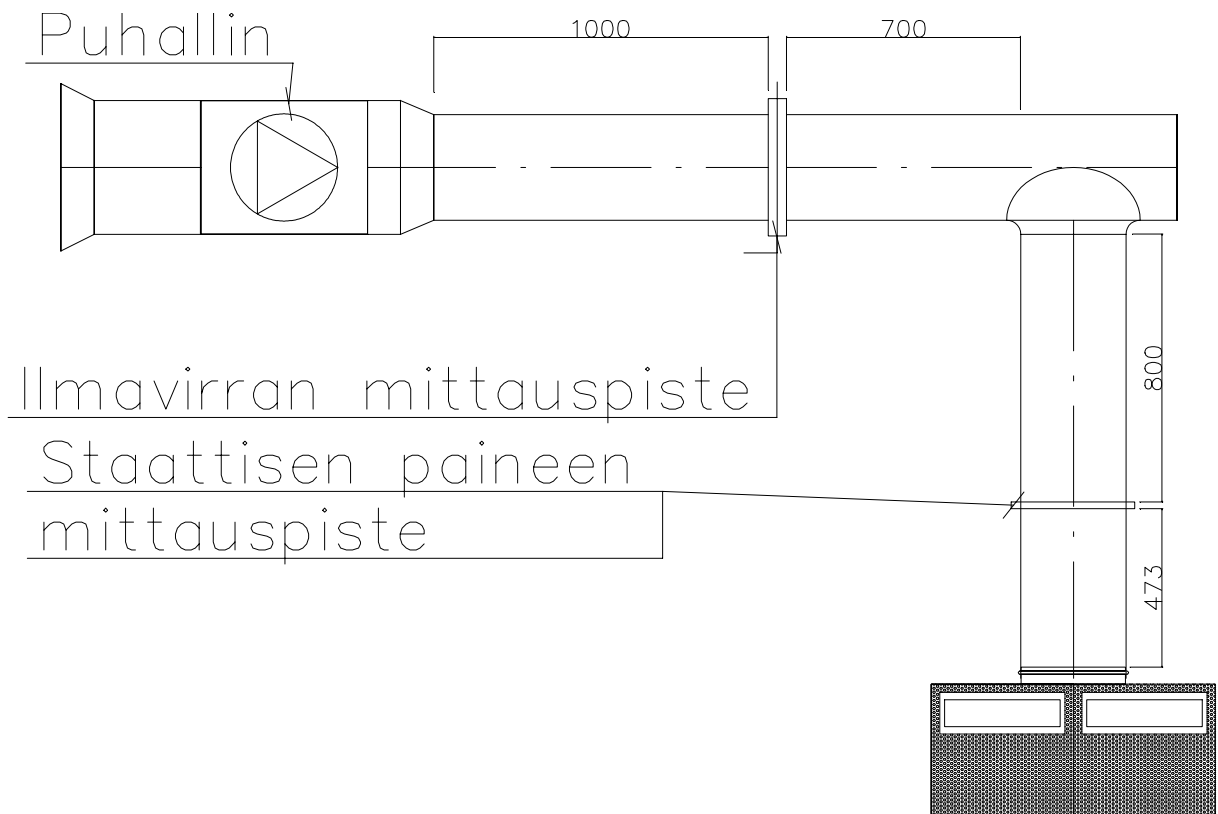
Paine-eron, lämpötilan ja ilmannopeuden mittaamiseen käytettiin TSI TC9565-P-monitoimimittaria, joka oli varustettu TC964-kuumalanka-anturilla. Valmistajan ilmoittama tarkkuus laitteen sisäiselle paine-eroanturille on  $\pm 1$  Pa tai 1 % lukemasta resoluution ollessa 0,1 Pa. TC964-kuumalanka-anturin tarkkuus on lämpötilan mittauksessa 0,3 °C resoluution ollessa 0,1 °C ja ilmannopeuden mittauksessa 0,015 m/s tai 3 % lukemasta. Ilman nopeuden resoluutio mittarissa on 0,01 m/s. Kuvassa 12 on esitetty kyseinen mittari.



*KUVA 12 TSI TC9565-P-monitoimimittari ja TC964-kuumalanka-anturi.*

### **3.3 Mittauslaitteisto**

Mittauslaitteisto rakennettiin käyttäen Fläkt Woods Oy:n valmistamaa profiloitua kierresaumakanavaa, jonka halkaisija oli 315 millimetriä. Kanavien liitokset tehtiin kumitiivisteosia käyttäen niittaamalla. Saumat teipattiin ilmatiiveyden varmistamiseksi. Mittauslaitteisto on esitetty kuvassa 13.



KUVA 13 Periaatekuva mittauslaitteistosta

Ilmavirran mittaukseen käytettiin Fläkt Woodsin valmistamaa Iris-säätöpeltiä ja staattisen paineen mittaukseen rengasputkea. Puhaltimena käytettiin Woodsin nimelliskooltaan 400 mm:n aksiaalipuhallinta, jonka kierrosluku säädettiin käytämällä erillistä taajuusmuuntajaa. Taajuusmuuntajan malli oli ABB ACS150-03E-01A2-4.

### 3.4 Paineen mittaus

Paineen mittaus suoritettiin standardin SFS 5428 kanavamenetelmällä. Staattinen paine mitattiin 10 sekunnin mittaisen jakson keskiarvona ja dynaaminen paine laskettiin ilmavirrasta. Mitatut paineet muutettiin vastaamaan ilman tiheyttä  $1,2 \text{ kg/m}^3$  käyttäen kaavaa 4. Mittaus toistettiin kahdeksalla eri tilavuusvirral- la. Laskentataulukko on esitetty liitteessä 2.

$$\Delta p_{1,2} = \frac{\rho_{1,2}}{\rho_{mit}} * \Delta p_{mit}$$

KAAVA 4

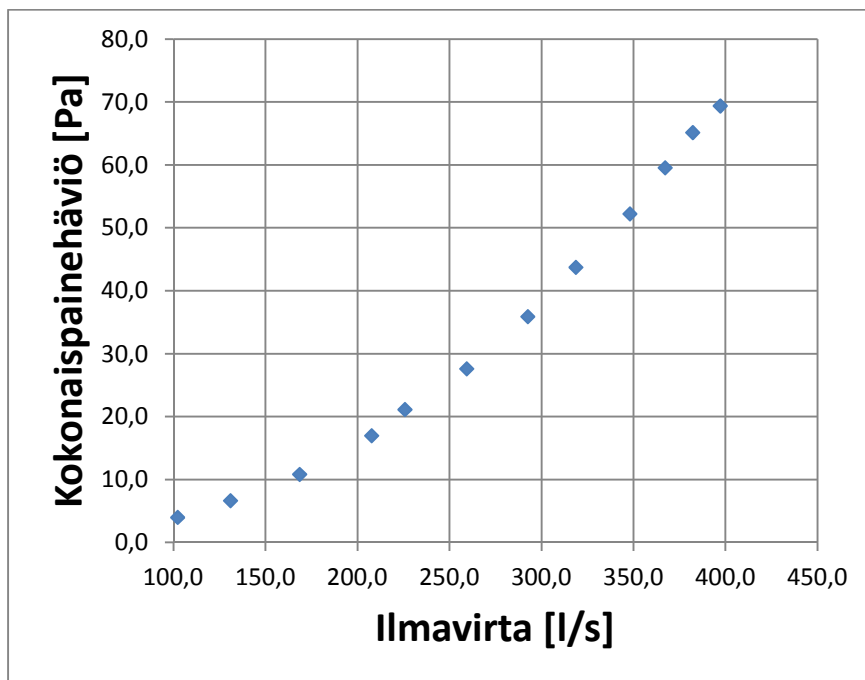
$\Delta p_{1,2}$  = Korjattu painehäviö, (l/s)

$\rho_{1,2}$  = Ilman tiheys, ( $1,2 \text{ kg/m}^3$ )

$\rho_{mit}$  = Mittaustilanteen ilman tiheys, (kg/m<sup>3</sup>)

$\Delta p_{mit}$  = Mitattu painehäviö, (l/s)

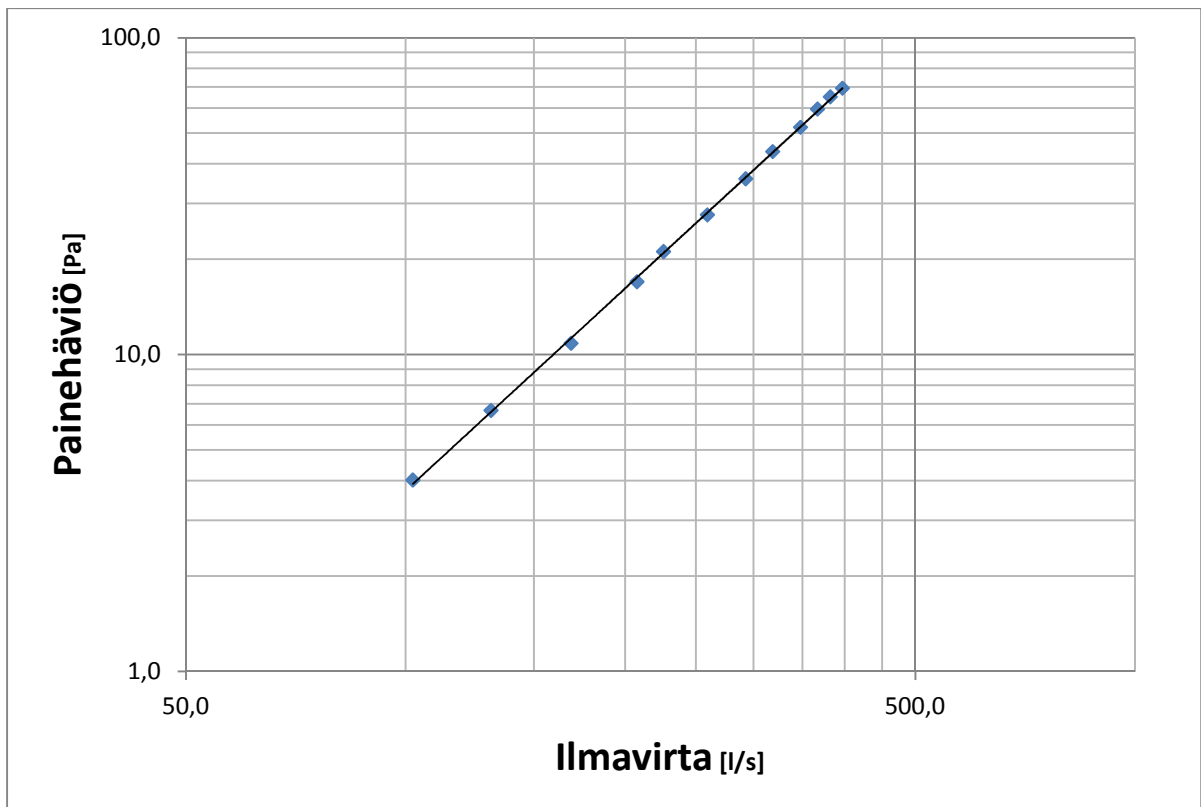
Korjatuista painehäviöistä muodostettiin käyrästä, jossa on kokonaispaine tilavuusvirran funktiona. Käyrästä on esitetty kuvassa 13.



KUVA 13 Kokonaispaine tilavuusvirran funktiona.

Tuloksista tehtiin vielä käyttämällä 10-kantaista logaritmia toinen käyrästä, johon piirrettiin trendiviiva lukemisen helpottamiseksi. Tämä käyrästä on esitetty kuvassa 14.





KUVA 14 Kokonaispaine tilavuusvirran funktiona logaritmisella käyrästöllä.

### 3.5 Heittopituus

Merkkiaineella suoritettua heittopituuden alustavalla tarkastelulla voitiin todeta, ettei laite toimi halutulla tavalla, joten mittauksen suorittamista ei katsottu tarpeelliseksi.

### 3.6 Hajotuskuvio

Merkkiaineella suoritettua hajotuskuvion alustavalla tarkastelulla voitiin todeta, ettei laite toiminut halutulla tavalla. Pätelaitteen muodostama hajotuskuvio halutuilla ilmavirroilla oli liian epäsäännöllinen, joten mittauksien suorittamista ei katsottu tarpeelliseksi.

## 4 YHTEENVETO

Työssä tutustuttiin eri ilmanjakotapoihin ja niiden soveltuvuudesta eri tiloihin. Lisäksi käytiin läpi sekoittavan ilmanjaon päätelaitteen valintakriteerit. Teoriaosan lopussa tutustuttiin standardin SFS 5428 mukaisiin virtausteknisiin testeihin, joita päätelaitteen suoritusarvojen määrittämisessä käytetään.

Työn käytännön osuudessa oli tarkoitus mitata tuloilmalaitteen virtausteknisiä ominaisuuksia ja muodostaa tuloksista painehäviödiagrammi sekä piirros heittokuvioista. Lisäksi näitä tuloksia hyödyntämällä määrittää laitteelle optimisijotuspaikka huonetilassa, ilman että esiintyy haittaavaa vetoa.

Mittaukset suoritettiin Oulapelti Oy:n tehdashallissa noudattaen mahdollisimman paljon standardia SFS 5428. Laitteen aiheuttama painehäviö mitattiin rengasputkea käyttämällä ja laskemalla dynaaminen paine ilmannopeudesta. Näistä tuloksista muodostettiin painehäviödiagrammi. Ennen heittopituuden ja heittokuvion mittaamista tehtiin koe merkkiaineella ja havaittiin laitteen muodostaman heittokuvion olevan epäsäännöllinen. Kokeen perusteella todettiin mittausten olevan vaikeita suorittaa, ja niiden tulokset eivät olisi olleet tarpeenmukaisia. Tämän vuoksi myös sijoituspaikka huonetilassa jäi työssä määrittämättä.

Merkkiainekokeen perusteella havaittiin, että ilman nopeus säleikköjen alapuolella olevassa piennopeuslaitteessa on liian suuri ja ilma tulee rei'istä hallitsemattomasti turbulenttisena. Myös säleikköjen läpi tuleva ilma oli jakautunut epätasaisesti laitteen kiilamaisen muodon vuoksi.

Laitteen toimintaa voisi parantaa pienentämällä ilmavirtaa sekä vaihtamalla säleiköt matalampiin rakomaisiin hajottajiin. Laitteen muotoilu pitäisi muuttaa kiilamaisesta suorakulmaiseksi, jotta ilma jakautuisi tasaisemmin päätelaitteessa. Laitteen alaosaan tulevan pienempinopeuksisen ilman imeytymistä säleiköistä tulevaan ilmaan voisi parantaa leventämällä ja madaltamalla laitetta.

## LÄHTEET

1. Seppänen, Olli – Seppänen, Matti 1996. Rakennusten sisäilmasto ja LVI-tekniikka. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy.
2. Kosonen, Risto – Seppänen, Olli 2004. Luku 7: Ilmanjako ja ilmanvaihdon tehokkuus. Teoksessa Seppänen, Olli (toim.) Ilmastoinnin suunnittelu. Forssa: Forssan Kirjapaino Oy.
3. Seppänen, Olli 1996. Ilmastointitekniikka ja sisäilmasto. Anjalankoski: Solver palvelut Oy.
4. D2 (2012). 2011.Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto. Määräykset ja ohjeet 2012. D2 Suomen rakentamismääräyskokoelma. Helsinki: Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto. Saatavissa: [http://www.finlex.fi/data/normit/37187-D2-2012\\_Suomi.pdf](http://www.finlex.fi/data/normit/37187-D2-2012_Suomi.pdf). Hakupäivä: 13.02.2014.
5. Halme, Alpo – Seppänen, Olli 2004. Luku 9: Ilmastoinnin äänitekkinen suunnittelu. Teoksessa Seppänen, Olli (toim.) Ilmastoinnin suunnittelu. Forssa: Forssan Kirjapaino Oy.
6. SFS 5428. 1988. Ilmastointi, ilmanjakaminen ja hajottaminen. Pääte-elimien virtaustekniset testit ja suoritusarvojen määrittelyt. Suomen standardisointiliitto SFS. Saatavissa: <http://sales.sfs.fi/sfs/servlets/ProductServlet?action=productInfo&productID=150273>. Hakupäivä: 30.01.2014.
7. Sirén, Kai 1995. Ilmastointitekniikan mittaukset. Helsinki: Cosmoprint Oy.
8. Tekninen käsikirja – Ilmankäsittelykoneet. 2010. Fläkt Woods Oy.
9. Ilmavirtojen mittaus- ja säätöopas. 2011. Fläkt woods Oy. Saatavissa: <http://www.flaktwoods.fi/184/0/3/aaf939c0-af71-4df4-9f84-b5513b9ed6f3>. Hakupäivä 30.01.2014.

Roo 1,20651 kg/m<sup>3</sup>  
Halk. 0,315 m

Mittauspiste	Pd [Pa]	Pd [Pa]	Pd [Pa]	Nopeus [m/s]
1	10,8	11,6	9,6	4,231179 4,38509 3,989194
2	12,3	11,9	10,8	4,515461 4,441432 4,231179
3	13,2	13,2	10,5	4,677745 4,677745 4,171999
4	14,4	12,8	13	4,885745 4,606324 4,642172
5	11,9	12,4	14,3	4,441432 4,533779 4,868751
6	12,6	10,3	11,7	4,570196 4,132075 4,403951
7	8,3	10	11,1	3,709271 4,071454 4,289543
8	7,6	7	7,9	3,549411 3,406423 3,618787

Nopeuksien KA 4,293764 m/s V= 0,334448 m<sup>3</sup>/s  
334,45 l/s

Tiheyskorjaus= Iriksestä mitattu 326,51 l/s  
korjattu 325,6279 l/s

Ero% 2,71 %

M=	28,966	kg/kmol
R=	8,31446	J/kmolK
T=	288,15	K
p=	99792	Pa

Kanavan poikkileikkaus pinta-ala  
0,077892 m<sup>2</sup>

Tiheys=	1206,51182	g/m <sup>3</sup>
Tiheys=	1,20651182	kg/m <sup>3</sup>

Nopeus [m/s]	Ilmavirta [l/s]	Korjattu ilmavirta [l/s]	Korjattu ilmavirta [m <sup>3</sup> /s]	Staatinen painehäviö [Pa]	Dynaami- nen paine [Pa]	Päätelaitteen kokonais- painehäviö [Pa]	Korjattu päätelaitteen kokonais- painehäviö [Pa]
1,313911	102,62	102,3	0,1023	3	1,0	4,0	4,0
1,681889	131,36	131,0	0,1310	5	1,7	6,7	6,7
2,164971	169,09	168,6	0,1686	8,1	2,8	10,9	10,9
2,667002	208,3	207,7	0,2077	12,8	4,3	17,1	17,0
2,899388	226,45	225,8	0,2258	16,2	5,1	21,3	21,2
3,330872	260,15	259,4	0,2594	21,1	6,7	27,8	27,6
3,757618	293,48	292,7	0,2927	27,6	8,5	36,1	35,9
4,092689	319,65	318,8	0,3188	33,9	10,1	44,0	43,8
4,468861	349,03	348,1	0,3481	40,5	12,0	52,5	52,3
4,714947	368,25	367,3	0,3673	46,5	13,4	59,9	59,6
4,908026	383,33	382,3	0,3823	51	14,5	65,5	65,2
5,100081	398,33	397,3	0,3973	54,1	15,7	69,8	69,4

